



⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Übersetzung der
europäischen Patentschrift

⑤ Int. Cl.⁶:
G 01 L 9/12

⑧ EP 0 605 302 B 1

⑩ DE 693 18 957 T 2

- ⑲ Deutsches Aktenzeichen: 693 18 957.6
⑧ Europäisches Aktenzeichen: 93 403 156.8
⑧ Europäischer Anmeldetag: 23. 12. 93
⑧ Erstveröffentlichung durch das EPA: 6. 7. 94
⑧ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 3. 6. 98
④ Veröffentlichungstag im Patentblatt: 17. 12. 98

<p>③ Unionspriorität: 9215772 28. 12. 92 FR</p> <p>⑦ Patentinhaber: Commissariat à l'Energie Atomique, Paris, FR</p> <p>⑦ Vertreter: Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser, Anwaltssozietät, 80538 München</p> <p>⑧ Benannte Vertragsstaaten: DE, FR, GB, IT</p>	<p>⑦ Erfinder: Diem, Bernard, F-38130 Echirolles, FR; Delaye, Marie-Therese, F-38100 Grenoble, FR</p>
--	---

⑤ Herstellungsverfahren für Druckwandler mittels der Silicium auf Isolation Technologie sowie derart hergestellte Wandler

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II 5 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 693 18 957 T 2

DE 693 18 957 T 2

BESCHREIBUNG

Die vorliegende Erfindung hat ein Herstellungsverfahren eines Druckwandlers bzw. Drucksensors der Silicium-auf-Isolator-Technologie sowie den hergestellten Wandler bzw. Sensor zum Gegenstand.

Dieser Sensor ist auf allen Gebieten verwendbar, wo Drücke gemessen werden, und insbesondere auf den industriellen Gebieten der Raum- und der Luftfahrt, auf dem Gebiet der Forschung und bei den Massenanwendungen wie z.B. dem Automobil.

Es sind schon zahlreiche Techniken zur Herstellung von Drucksensoren oder mechanische Strukturen für Sensoren aus mikrobearbeitetem Silicium unter Anwendung von Technologien der Mikroelektronik vorgeschlagen worden.

Der Hauptvorteil des Siliciums ist klarerweise die kollektive Bearbeitung der Strukturen und ihre Miniaturisierungen und folglich relativ niedrige Herstellungskosten, aber auch die mechanische Zuverlässigkeit des verwendeten monokristallinen Materials, das kein Fließen, keine Hysterisis und keine Meßabweichungen im Laufe der Zeit kennt.

Jedoch ist es für eine noch breitere Anwendung dieser Sensoren nötig, die Einzelkosten pro Chip zu reduzieren, indem man seine Fläche reduziert, wobei aber akzeptable Meßqualitäten erhalten bleiben müssen.

Die klassischen Herstellungstechniken von Drucksensoren wenden die anisotrope chemische Siliciumvolumenbearbeitung an, d.h. das die gesamte Dicke des Substrats geätzt wird, um eine sensible monokristalline Struktur freizulegen.

Die zu nennenden Hauptnachteile dieser Volumentechnik sind: die Benutzung einer Zweiseitentechnik (wenige und teure Maschinen und auf zwei Seiten polierte Substrate); eine mit der Kristallorientierung des Substrats verknüpfte Form des Sensors und folglich eine Beschränkung dieser Formen; eine durch die Dicke des Substrats begrenzte Miniaturisierung des Sensors (dreidimensionale Struktur, von der eine Dimension festgelegt ist), und die Notwendigkeit, ein Vergießen des Sensors über ein Substrat oder

mehrere vorzunehmen, was die Benutzung von Bezugs- und Strukturträgerhohlräumen erforderlich macht und die Herstellung dieser Sensoren etwas kompliziert.

Diese Volumentechnik wird vor allem beschrieben in der Referenz 1 - Transducers' 91 Digest of Technical papers, San Francisco, "Stability and common mode sensitivity of piezoresistive silicon pressure sensors made by different mounting methods", von R. Holm et al., S. 978-981.

Gererell beruht das Grundprinzip eines Silicium-Drucksensors auf der Messung der Verformung einer verformbaren, mechanisch mit einem Träger verbundenen Siliciummembran unter der Wirkung einer Druckveränderung.

Um die Drucksensoren nach einer Volumentechnik herzustellen, bedarf es beim Ätzen des Substrats einer selektiven Schicht, die ermöglicht, die Ätzung in einer bestimmten Tiefe kontrolliert zu stoppen. Außerdem ist es aus Gründen der mechanischen Festigkeit und auch der elektrischen Charakteristika sehr wichtig, daß die freigelegte Struktur aus monokristallinem Silicium ist.

Die Techniken zum Stoppen einer Ätzung bestehen darin, entweder ein massives Siliciumsubstrat von der Rückseite, bis zu einer mittels Expitaxie abgeschiedenen, stark mit Bor dotierten Siliciumschicht zu ätzen (s. Referenz 2 - J. Electrochem. Soc., Bd. 137, Nr. 11, November 1990, "Anisotropic etching of crystalline silicon in alkaline solutions : II. Influence of dopants" von H. Seidel et al., S. 3626-3632 -), oder das Siliciumsubstrat elektrochemisch bis zu einer mittels Expitaxie abgeschiedenen Siliciumschicht zu ätzen, die mit dem Substrat einen P/N-Übergang bildet (s. Referenz 3 - IEEE Transactions on Electron Devices, Bd. 36, Nr. 4, April 1989, "Study of electrochemical etch-stop for high-precision thickness control of silicon membrans" von B. Kloeck et al., S. 663-669 -).

Diese beiden Ätzstopp-Techniken weisen die oben erwähnten Nachteile auf. Sie benutzen nämlich eine anisotrope Ätzung des Substrats, die die Formen der sensiblen Elemente aufgrund der Kristallorientierung einschränkt, sowie einen Angriff von der Rückseite, was die Verwendung von Spezialsubstraten und

die Anwendung einer Doppelseiten-Ausrichttechnik erforderlich macht.

Außerdem erfordern diese Stopptechniken die Verwendung von sehr selektiven Ätzmasken und aufgrund der schrägen Angriffsflächen ($54,7^\circ$ für das Silicium der Orientierung 100) und der Dicke des zu ätzenden Siliciums sind die auf der Rückseite hergestellten Formen sehr viel größer als die nützlichen Endformen der Komponente.

Die Benutzung dieser sehr selektiven Ätzmasken ist insbesondere verbunden mit der großen Dicke des zu ätzenden Siliciumsubstrats.

Wenn das sensible Element fertig ist, muß es anschließend mit einem oder mehreren dicken und steifen Trägern vergossen werden, um den Sensor herzustellen. Dieser oder diese Träger sind im allgemeinen von anderer Art bzw. aus anderen Materialien als die Substrate (z.B. aus Glas), was zu Differentialspannungen führt, die die Leistungen des Sensors beeinträchtigen. Außerdem handelt es sich um einen zusätzlichen Schritt, dessen Durchführung schwierig ist.

Ein anderer Weg zur Herstellung von Durcksensoren besteht darin, eine Oberflächenbearbeitungstechnik mit Hilfe einer Opferschicht und einer abgeschiedenen Schicht aus polykristallinem Silicium zur Herstellung der gewünschten mechanischen Struktur zu benutzen. Dieser Weg ist beschrieben in der Referenz 4 - Transducer's 87, Tokyo, Juni 1987, "Fine grained polysilicon and its application to planar pressure transducers" von H. Guckel et al., S. 277-282. Man kann sich ebenfalls beziehen auf das Dokument "Surface micromachined micro-diaphragm pressure" von S. Sugiyama et al., Seite 190, Transducers 91 - Digest of technical papers, 24. Juni 1991.

Diese Technik ermöglicht, dank der Verwendung der Opferschicht einfache Drucksensoren herzustellen. Diese Oberflächenbearbeitung hat den großen Vorteil, eine einfache Technik mit Strukturen mit sehr kleinen Abmessungen zu verbinden.

Leider weist diese Oberflächentechnik Nachteile auf. Insbesondere sind die mechanischen Qualitäten des die Membran bildenden Materials (polykristallines Silicium oder Siliciumnitrid) mittelmäßig und aufgrund der Verwendung von

unterschiedlichen Materialien für die Membran und das Substrat kommt es zu thermischen Differentialspannungen. Die Folge sind Drucksensoren mit begrenzten, ja sogar ungenügenden Meßqualitäten.

Außerdem haben diese Abscheidungen aufgrund ihrer Art eine auf einige μ begrenzte Dicke (im allgemeinen unter 2μ), was die Möglichkeiten bezüglich Form und Abmessungen reduziert und eine piezoresistive Druckdetektion praktisch ausschließt.

Um diese verschiedenen Nachteile zu beseitigen, schlägt die Erfindung ein neues Herstellungsverfahren eines Drucksensors vor, bei dem zusammen mit einer Mikro-Materialbearbeitung der Oberfläche die Silicium-auf-Isolator-Technologie benutzt wird.

Die Silicium/Isolator-Technologie ist unter der Abkürzung SOI bekannt. Eine der bekannten Techniken nutzt die Rekristallisation einer Schicht aus amorphem oder polykristallinem Silicium mittels Laser, abgeschieden auf einer Silicium-oxidschicht, hergestellt durch thermische Oxidation eines Substrats aus monokristallinem Silicium. Eine zweite Technik, bekannt unter der Abkürzung SDB, besteht darin, zwei Silicium-substrate zu vergießen, von denen wenigstens eines auf der Gießoberfläche eine SiO_2 -Schicht besitzt, z.B. hergestellt durch thermische Oxidation, und anschließend eines der beiden Substrate dünn zu machen bis auf eine gewünschte Dicke (s. Technical Digest MNE'90, 2. Workshop, Berlin, November 90, S. 81-86 von C. Harendt et al., "Wafer bonding and its application silicon-on-insulator fabrication").

Eine dritte bekannte Technik basiert auf der Implantation von Sauerstoff- oder Stickstoffionen mit starker Dosis in massives monokristallines Silicium, das nach dem Tempern des Substrats bei hoher Temperatur zur Bildung einer vergrabenen Isolierschicht aus Siliciumoxid oder Siliciumnitrid führt, die einen Film aus monokristallinem Silicium trägt. Die Sauerstoffionen-Implantationstechnik ist unter der Abkürzung SIMOX bekannt.

Die Erfindung berücksichtigt insbesondere diese dritte Technik.

Das Dokument WO91/19177 beschreibt außerdem einen Sensor mit einer verformbaren Membran, der mittels kapazitivem Effekt oder mittels Piezoeffekt arbeitet. Zu diesem Zweck werden vor der Herstellung der Silicium- und Isolatorschicht auf dem

Substrat Elektroden in Form eines p/n-Übergangs ausgebildet. Ein solches Verfahren ist jedoch nicht kompatibel mit der SIMOX-Technik, die für die vorliegende Erfindung gewählt wurde. Bei der SIMOX-Technik muß die Vorrichtung auf eine hohe Temperatur gebracht werden, um 1350°C während ungefähr 6 Stunden, um die Isolierschicht zu bilden und um die bei der Implantation beeinträchtigte kristalline Qualität wiederherzustellen. Diese Bedingungen zerstören oder verändern jede vorhergehende Ausführung durch Dotierung, wie die Bildung einer isolierten Elektrode mit Hilfe eines p/n-Übergangs durch Diffusion der Arten.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht, mechanische Strukturen aus monokristallinem Silicium mit guten Meßqualitäten herzustellen, die sehr kleine Abmessungen und folglich eine hohe Dichte haben und infolgedessen die Herstellungskosten senken. Dieses Verfahren ermöglicht zudem die Herstellung von Drucksensoren mit Selbst-Test für die Eichung mit einer kapazitiven Detektion.

Zudem ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren die monolithische und kollektive Herstellung von Mikrosensoren mit jeder Freiheit bezüglich der Form der Struktur, wobei eine Einseitentechnik und Standard-Siliciumsubstrate benutzt werden, die auf einer Seite poliert sind und eine Standarddicke und sehr kleine Abmessungen haben.

Außerdem ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren, den kritischen Vergießungsschritt des Sensors mit einem Träger anderer Art sowie eine Integration der integrierten Detektionsschaltungen der Verformungen der Membran wegzulassen. Insbesondere ist diese Technik kompatibel mit der CMOS-Technik.

Schließlich ermöglicht die Erfindung die Herstellung von Sensoren mit sehr niedrigen Fertigungskosten.

Noch genauer hat die Erfindung ein Herstellungsverfahren eines integrierten Drucksensors zum Gegenstand, der wenigstens eine verformbare, fest mit einem Substrat verbundene Membran und Meßeinrichtungen der Verformung dieser Membran enthält, das dadurch gekennzeichnet ist, daß es die folgenden Schritte umfaßt:

a) - Implantieren von Sauerstoff-Ionen in ein Substrat aus monokristallinem Silicium und Tempern des Substrats, um auf

dem Substrat einen Film aus monokristallinem Silicium zu bilden und von diesem letzteren wenigstens lokal durch eine Isolierschicht zu trennen;

b) - Herstellen einer Öffnung in diesem Siliciumfilm, bis zur Isolierschicht;

c) - partielles Eliminieren dieser Isolierschicht durch die genannte Öffnung, um die Siliciumfilm-Membran zu bilden;

d) - Verschließen der besagten Öffnung, wobei dieses Verfahren außerdem einen Herstellungsschritt von wenigstens einer in dem Siliciumsubstrat vergrabenen Elektrode umfaßt, der verformbaren Membran gegenüberstehend, und dieser Schritt nach dem Tempern des Substrats stattfindet.

Die Detektionseinrichtungen der Membranbewegung können in die sensible Struktur integriert sein oder nicht. Wenn diese Einrichtungen integriert sind, werden sie auf der Oberfläche des Siliciumfilms hergestellt. In diesem Fall ist der Siliciumfilm vorteilhafterweise leitend und es muß ein zusätzlicher Herstellungsschritt der elektrischen Kontakte auf diesem Film vorgesehen werden.

Diese Detektionseinrichtungen sind elektrisch oder elektronisch. Diese Einrichtungen können aus Kondensatoren mit variabler Kapazität, aus Dehnungsmeßstreifen oder aus induktiven Einrichtungen bestehen. Die durch die verschiedenen Detektionseinrichtungen gelieferten elektrischen Signale sind proportional zu den Verformungen der Membran, die ihrerseits proportional sind zu dem auf diesen Sensor ausgeübten Druck.

Die Isolierschicht wird vorteilhafterweise isotrop angegriffen, um vollkommen kreisrunde Formen zu erhalten, die die Endform der Struktur definieren, unabhängig von der Kristallorientierung des Siliciums des Films und des Substrats.

Vorteilhafterweise umfaßt das erfindungsgemäße Verfahren vor der Herstellung der Öffnung einen zusätzlichen Schritt der Abscheidung einer leitenden Schicht aus monokristallinem Silicium mittels Epitaxie, um die Membran dicker zu machen und so ihre Steifigkeit sicherzustellen.

Das epitaxierte Silicium muß außerdem dotiert werden, um eine ausreichende elektrische Leitfähigkeit der Membran und folglich eine gute Detektion der eventuellen Verformungen der

03.08.93

Membran durch die integrierten Detektionseinrichtungen sicherzustellen.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird insbesondere mit der oben erwähnte SIMOX-Technik angewandt.

Die Ionenimplantation kann auf einmal oder in mehreren Schritten stattfinden, wobei auf jede Implantation ein Tempern der Struktur erfolgt.

Der Siliciumfilm und eventuell das Substrat, wenn dieses letztere am Anfang der Herstellung des Oberflächenfilms steht, können eine P-Konduktivität aufweisen. Es ist jedoch vorzuziehen, eine N-Konduktivität zu benutzen.

Das Wiederverschließen der Öffnung in dem Siliciumfilm erfolgt, indem man auf der gesamten Struktur wenigstens eine Materialschicht abscheidet, die man in bezug auf das Silicium selektiv ätzen kann, und indem man diese Schicht derart ätzt, daß Material nur an der Stelle der Öffnungen stehenbleibt.

Das Wiederverschließen der Öffnung in dem Film ermöglicht, ebenfalls an dieser Stelle einen Stopfen bzw. Abstandshalter zu bilden, der sich auf dem Substrat abstützt und eine Unterlage bildet, die zur Steifigkeit der Membran beiträgt.

Vorteilhafterweise erfolgt das Wiederverschließen durch ein isolierendes Material. Dieses kann aus Siliciumoxid, Siliciumnitrid, Siliciumoxynitrid oder besser aus einem Siliciumoxid- und Siliciumnitridstapel bestehen. Das Verschließmaterial kann jedenfalls leitfähig sein.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird vorteilhafterweise bei der Herstellung eines Drucksensors mit kapazitiven Meßeinrichtungen angewandt. In diesem Fall umfaßt das erfindungsgemäße Verfahren einen zusätzlichen Herstellungsschritt von wenigstens einer in dem Siliciumsubstrat vergrabenen Elektrode, der Membran gegenüberstehend.

Die Herstellung der vergrabenen Elektrode bildet eine bevorzugte Ausführungsart der Erfindung. Es ist jedoch möglich, das leitfähige Substrat als erste Belegung eines Kondensators zu benutzen, wobei die zweite Belegung durch den leitfähigen Siliciumfilm gebildet wird.

Diese vergrabene Elektrode kann gebildet werden, indem man lokal Ionen in das Substrat implantiert, die eine zum Substrat entgegengesetzte Konduktivität aufweisen.

So führt man für ein Substrat des Typs N eine Implantation von Ionen des Typs P durch, um einen P/N-Übergang zu bilden.

Bei einem Sensor mit kapazitiven Meßeinrichtungen wird die Isolierschicht vorteilhafterweise auf der gesamten Oberfläche des Substrats ausgebildet.

Um sich von den thermischen oder zeitlichen Abweichungen des Sensors freizumachen, ist es möglich, eine kapazitive Differentialmessung zu benutzen, indem man eine gegenüber Druck unsensible Bezugsstruktur herstellt. Diese Bezugsstruktur umfaßt also eine steife Membran und wird simultan auf dem Siliciumsubstrat der sensiblen Struktur hergestellt.

In diesem Fall umfaßt das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhafterweise die folgenden Schritte:

- Herstellen des leitenden, über seine gesamte Fläche vom Substrat getrennten Siliciumfilms;
- Herstellen mehrerer Öffnungen in dem Siliciumfilm, bis zur Isolierschicht;
- partielles Eliminieren der Isolierschicht durch wenigstens eine der genannten Öffnungen;
- Wiederverschließen der genannten Öffnungen durch isolierende Stopfen bzw. Abstandshalter;
- Herstellen von elektrischen Kontakten auf dem leitfähigen Silicium.

Die Abstandshalter gewährleisten eine große Steifheit der Membran der Bezugsstruktur, die dadurch jede Drucksensibilität verliert.

Vorteilhafterweise stellt man in dem Film eine erste Öffnung bis zu Isolierschicht her und entfernt die Isolierschicht partiell durch die erste Öffnung und zweite Öffnungen in dem Siliciumfilm.

Vorzugsweise stellt man wenigstens eine in dem Siliciumsubstrat vergrabene Bezugselektrode her, der steifen Membran gegenüberstehend.

Die Anpassungsfähigkeit bei den seitlichen Dimensionen der verformbaren Membran und der steifen Membran ebenso wie bei ihrer Dicke ermöglicht einen sehr breiten Druckmeßbereich.

Nach einer Variante der Erfindung kann eine induktive Differentialmessung ebenfalls ohne zusätzliche unsensible Bezugsstruktur stattfinden. Zu diesem Zweck ist die sensible Struktur mit zwei Typen von Elektroden ausgestattet. Einerseits stehen eine oder mehrere sogenannte "Nutzelektroden" auf dem Substrat den Bereichen starker Verformung der Membran gegenüber, und andererseits stehen eine oder mehrere sogenannte "Bezugselektroden" auf dem Substrat den Bereichen sehr schwacher Verformung der Membran gegenüber. Die Bereiche starker Verformung sind vom dem Rand der Membran und von dem zentralen Abstandshalter entfernt. Die Bereiche schwacher Verformung hingegen sind in der Nähe der Teile, die zu Steifigkeit der Membran beitragen. Somit dient die Inhomogenität der Membran der Erzeugung von zwei Kapazitätstypen, jeweils "Nutzkapazität" und "Bezugskapazität" genannt. Durch Differentialmessung zwischen der Nutzkapazität und der Bezugskapazität werden die störenden Einflüsse, hervorgerufen durch die Temperatur oder die mechanische Ermüdung der Membran, eliminiert.

Die Erfindung betrifft auch die Herstellung eines Drucksensors mit piezoresistiven Meßeinrichtungen. In diesem Fall umfaßt das erfindungsgemäße Verfahren die folgenden Schritte: lokales Dotieren der verformbaren Membran durch Ionen inverser Konduktivität bezüglich der des Siliciumfilms, um dort wenigstens einen Dehnungsmeßstreifen zu bilden; elektrische Isolation des Dehnungsmeßstreifens und Kontaktnahme auf diesem Streifen.

Die Erfindung hat auch einen integrierten Drucksensor zum Gegenstand, hergestellt durch das oben beschriebene Verfahren.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung gehen besser aus der nachfolgenden, erläuternden und nicht einschränkenden Beschreibung hervor, bezogen auf die beigefügten Zeichnungen:

- die Figur 1 ist eine schematische Draufsicht der sensiblen Struktur eines erfindungsgemäßen Drucksensors mit kapazitiver Detektion,

- die Figur 2 ist eine Schnittansicht entsprechend der Richtung II-II der Figur 1,
- die Figur 3 ist eine Schnittansicht der Bezugsstruktur der Figur 1,
- die Figur 4 ist eine Schnittansicht einer Variante der erfindungsgemäßen sensiblen Struktur im vergrößerten Maßstab,
- die Figuren 5 bis 8, 9A, 9B, 10A und 10B zeigen schematisch die verschiedenen erfindungsgemäßen Herstellungsschritte des Sensors der Figuren 1 bis 3: die Figuren 9A und 10A betreffen die sensible Struktur und die Figuren 9B und 10B betreffen die Bezugsstruktur;
- die Figur 11 zeigt schematisch im Schnitt einen erfindungsgemäßen Drucksensor mit piezoresistiver Detektion;
- die Figuren 12 bis 17 zeigen schematisch die verschiedenen erfindungsgemäßen Herstellungsschritte des Sensors der Figur 11.

In der folgenden Beschreibung werden die SIMOX-Technik sowie ein monokristallines Substrat des Typs N vorgesehen, aber es können auch, wie man vorhergehend gesehen hat, andere Silicium/Isolator-Techniken sowie ein Substrat des Typs P benutzt werden.

1°) - Drucksensor mit kapazitiver Detektion.

Der in den Figuren 1 bis 3 dargestellte Sensor umfaßt einen sensiblen Teil mit dem Hauptbezugszeichen 2 und einen Bezugsteil 4, hergestellt auf demselben Substrat 6 aus N-dotiertem monokristallinem Silicium, jeweils versehen mit einer verformbaren Membran 8 und einer steifen Membran 10, auch aus monokristallinem Silicium, N- oder P-dotiert.

Die verformbare und die steife Membran weisen in der Draufsicht eine kreisrunde Form auf (Figur 1). Sie haben einen Durchmesser von ungefähr 25µm bis 1mm.

Aufgrund der elektrischen Leitfähigkeit der Membranen 8 und 10 definieren diese mit dem Substrat 6 einen Kondensator der Kapazität C_u für die sensible Struktur 2, dessen Dielektrikum jeweils durch die Vakuumräume 16 und 18 gebildet wird, die die Membranen vom Substrat trennen.

C_{p1} ist die Streukapazität der verformbaren Membran.

Die verformbaren Strukturen und die Bezugsstrukturen umfassen außerdem jede eine in dem Substrat 6 vergrabene Elektrode

12 bzw. 14. Diese Elektroden haben auch eine kreisrunde Form. Diese Elektroden werden hergestellt mittels Ionenimplantation des Typs P für ein Substrat des Typs N, um einen P/N-Übergang zu bilden.

Die Qualität dieses Übergangs ist nicht kritisch, denn er verhält sich wie eine mit Cp2 bezeichnete Streukapazität in bezug auf das Substrat 6. Diese Elektroden sind bevorzugt aber nicht notwendig aufgrund der elektrischen Konduktivität des Substrats 6.

Die mechanische Verbindung zwischen dem Substrat und den Membranen wird durch einen isolierenden Ring 20 bzw. 22 sichergestellt, ausgebildet am Rand der Membranen 8 bzw. 10. Diese Ringe gewährleisten außerdem eine elektrische Isolation der Membranen gegenüber dem Substrat.

Die isolierenden Ringe 20 und 22 werden aus Siliciumoxid hergestellt. Diese elektrische Isolation wird durch eine periphere Ätzung der Membranen 8 und 10 vervollständigt, die die elektrische Kontinuität unterbricht und die Streukapazitäten verringert.

Um eine gewisse Steifheit der verformbaren Membran 8 sicherzustellen, ist in der Mitte der Struktur ein isolierender zylindrischer Abstandhalter 24 vorgesehen. Dieser Abstandhalter spielt die Rolle des Stopfens 24 einer Öffnung 26, die die Membran 8 durchquert, und stützt sich auf dem Substrat 6 ab.

Parallel dazu umfaßt die Bezugsstruktur 4 mehrere isolierende zylindrische Abstandshalter 28, 5 an der Zahl in Figur 3, die eine hohe Steifigkeit der Membran 10 gewährleisten und infolgedessen deren Umempfindlichkeit gegenüber Druck. Diese Abstandshalter 28 durchqueren diese Membran durch Öffnungen 30, um sich auf dem Substrat 6 abzustützen.

Schließlich sind Metallkontakte 32 bzw. 34 auf der Oberfläche der Membranen 8 bzw. 10 ausgebildet, an denen elektrische Verbindungen E1 und E1' angeschlossen sind. Ebenso sind elektrische Anschlüsse E2, E2' bzw. E3, E3' an den vergrabenen Elektroden 12, 14 und dem Substrat vorgesehen.

Diese elektrischen Verbindungen dienen dazu, die sensible Strukturen 2 und die Bezugsstruktur 4 mit einer

Verarbeitungsschaltung bekannten Typs zu verbinden (insbesondere Kapazitätsmesser).

Der Nutzkondensator mit variabler Kapazität C_u wird also definiert durch die Überdeckung der Elektroden 12 und 8. Ebenso wird der Kondensator mit fester Kapazität C_F , bestimmt zur Differentialmessung, definiert durch die Überdeckung der Elektroden 14 und der Elektrode 10.

Die isolierenden Abstandshalter 24 und 30 werden aus einem Siliciumoxid/Siliciumnitrid-Zweischichtenmaterial hergestellt. Außerdem werden die Metallisierungen 32 und 34 aus Aluminium hergestellt.

Erfindungsgemäß ist es möglich, mehrere verformbare Membranen 8 zu vereinigen. Die Miniaturisierung der Membranen 8 ermöglicht nämlich durch ihre parallele Kopplung eine hohe Einheitskapazität C_u ($>10\text{pF/mm}^2$) und eine für den Wirkungsgrad bzw. die Ausbeute vorteilhafte Redundanz zu erzielen. Die Bezugsstruktur ermöglicht eine Differentialmessung, die frei macht von den thermischen und zeitlichen Abweichungen.

Eine Variante der Erfindung, die ebenfalls an eine Differentialmessung angepaßt ist aber nur eine verformbare Struktur 102 umfaßt, ist in Figur 4 dargestellt. Sie umfaßt ebenso wie die sensible Struktur der Figur 2 ein Substrat 106, eine Membran 108 und einen oder mehrere elektrische Kontaktelemente 132. Die kreisrunde Membran 108 ist mechanisch mit dem Substrat 106 durch einen isolierenden Ring 120 und durch einen zentralen isolierenden Abstandshalter 124 verbunden. Dieser Abstandshalter spielt ebenfalls die Rolle eines Stopfens, stützt sich auf dem Substrat 106 ab und trägt zur Steifheit der Membran 108 bei. In das Substrat 106 sind drei ringförmige Elektroden 111, 113 und 115 implantiert. Die Elektroden 111 und 115, sogenannte Bezugselektroden, sind jeweils in der Nähe des Rings 120 und des Abstandhalters 124 angeordnet, d.h. in Bereichen schwacher Verformung der Membran 108. Hingegen ist die Elektrode 113 jeweils vom Ring 120 und vom Abstandshalter 124 beabstandet und befindet sich in einem Bereich 117 starker Verformung der Membran 108.

Die Elektroden 111 und 115 einerseits und die Elektrode 113 andererseits bilden jeweils mit der Membran 108 eine Bezugskapazität C_{ref} und eine Nutzkapazität C_u . Der auf die Membran

wirkende Druck ist durch Pfeile schematisiert. Die Veränderung des Spalts in den Bereichen der Elektroden 111 und 115 ist sehr gering. In dem Bereich 117 hingegen, d.h. in dem Bereich der Elektrode 115, ist die Veränderung des Spalts groß. Da die Nutz- und die Bezugskapazität unter derselben Membran gebildet werden, gibt es keine Abweichung bei einer Differentialmessung.

Die nachfolgende Beschreibung betrifft die Herstellung des in den Figuren 1 bis 3 dargestellten Sensors. Diese Herstellung betrifft die simultane Herstellung der sensiblen Struktur 2 und der Bezugsstruktur 4.

Der erste Schritt des Verfahrens, dargestellt in Figur 5, besteht darin, einen Stapel des Typs Silicium/Isolator auf dem Substrat 6 zu bilden. Zu diesem Zweck implantiert man Sauerstoffionen $40\text{ (O}^+\text{ oder O}_2^+)$ in das N-dotierte monokristalline Substrat 6 beliebiger Orientierung (100, 110, 101) mit einer Dosis von 10^{16} bis 10^{18} Ionen/cm² und temperiert dann die implantierte Struktur bei einer Temperatur zwischen 1150 und 1400°C.

Diese Sauerstoffimplantation und dieses Tempern können mehrmals wiederholt werden. Die Implantationsenergie wird zwischen 100 und 1000keV gewählt.

Durch diese Mono- oder Multiimplantation, gefolgt von ihrem Tempern, erhält man eine vergrabene homogene Siliciumoxidschicht 42 über die gesamte Fläche des Substrats 6 und eine Oberflächenschicht 44 aus monokristallinem Silicium des Typs N.

Beispielsweise beträgt die Dicke der SiO₂-Schicht ungefähr 400nm und die der Oberflächenschicht 44 aus Silicium ungefähr 230nm bei Durchführung von drei Sauerstoffimplantationen mit einer Dosis von 10^{18} Ionen/cm und einer Energie von 200keV.

Diese SIMOX-Technik ermöglicht, eine Schicht aus monokristallinem Silicium 44 mit einer perfekt bis auf 5nm einstellbaren und reproduzierbaren Dicke herzustellen.

Die spätere partielle Beseitigung des Oxids 42 ermöglicht, die Membranen 8 und 10 des Substrats 6 freizumachen und schmale Räume 16 und 18 zu erhalten, um eine Kapazität Cu und CF mit hohem Wert zu erzielen.

Ein zusätzlicher, mit dem Raum 16 verbundener Vorteil ist die Möglichkeit, den Boden dieses Raums und folglich die

Oberfläche des Substrats 6 im Überlastungsfall als mechanischen Anschlag zu benutzen.

Die in Figur 4 dargestellte Herstellung der Variante der Erfindung umfaßt Schritte, die den Herstellungsschritten des Sensors der Figuren 1 bis 3 entsprechen.

In der Folge der Beschreibung werden die Herstellungsschritte der Bezugsstruktur nur gezeigt, wenn diese spezifisch und/oder verschieden von denen der sensiblen Struktur sind.

Der nächste Schritt des Verfahrens, dargestellt in Figur 6, betrifft die Herstellung der in dem Substrat vergrabenen Elektroden. Zu diesem Zweck bildet man mittels klassischer Photolithographieverfahren eine Maske 46 auf dem Siliciumfilm 44, die sowohl Form und Ort der zu erzeugenden vergrabenen Elektroden als auch die vergrabene elektrische Verbindung E2, E'2 dieser Elektroden festlegt, die unter anderem das Anlegen einer Spannung an diese vergrabenen Elektroden ermöglicht.

Durch die Maske 46 führt man eine tiefe Bor-Implantation mit hoher Energie durch, unter der vergrabenen Oxidschicht 44. Die Implantationsbedingungen können z.B. eine Dosis von $5 \times 10^{14} \text{ At/cm}^2$ mit einer Energie von 240keV sein, um eine dotierte Zone des Typs P mit guter elektrischer Konduktivität und einer Dicke von ungefähr $0,3 \mu\text{m}$ direkt unter der vergrabenen Schicht 44 zu erhalten, und dies in der nicht durch das Harz 46 maskierten Zone. Diese Maske 46 muß ausreichend dick sein, um die Implantation in unerwünschte Zonen abzublocken. Zum Beispiel kann eine Dicke von $2 \mu\text{m}$ aus photosensiblen Harz benutzt werden.

Nachdem diese Implantation durchgeführt ist, entfernt man die Maske 46 z.B. durch chemischen Angriff.

Der nächste Schritt des Verfahrens, dargestellt in Figur 7, besteht darin, mittels Epitaxie auf der gesamten Struktur eine Schicht 50 aus monokristallinem Silicium abzuscheiden, P-dotiert, über eine Dicke von 1 bis $100 \mu\text{m}$, je nach erwünschter Sensor-Sensibilität (typisch 10 bis $20 \mu\text{m}$), dazu bestimmt, die Struktur und insbesondere die Membranen 8 und 10 zu versteifen. Diese Epitaxie wird in der Gasphase durchgeführt.

Die Dicke der Schicht 50 ist abhängig von der für den Drucksensor angestrebten Sensibilität.

Der nächste Schritt des Verfahrens, dargestellt in Figur 8, besteht darin, die Öffnung 26 der sensiblen Struktur 2 und der Bezugsstruktur 4 herzustellen (s. Figur 9B), wobei klassische Photolithographieverfahren angewandt werden können. Diese Öffnungen werden über die gesamte Dicke des Oberflächensiliciums bis zum Oxid 42 hergestellt, das als Ätz-Sperrschicht dient.

Die Ätzung des Siliciums kann eine isotropische chemische Ätzung oder eine ionische und reaktive Trockenätzung sein, um eine geneigte Ätzflanke der Öffnungen 26 herzustellen. Diese Öffnungen sind außerdem kreisrund.

Man verwendet z.B. eine Lösung aus $\text{HF} + \text{HNO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH}$ um diese Öffnungen zu bilden.

Der nächste Schritt des Verfahrens, dargestellt in den Figuren 9A und 9B, besteht darin, die Membranen 8 und 10 der sensiblen Struktur 2 bzw. der Bezugsstruktur 4 durch Ätzen der Opferoxidschicht 42 in einer Lösung auf der Basis von Fluorwasserstoffsäure durch die Öffnungen 26 freizumachen. Diese Ätzung breitet sich unter dem Silicium aufgrund ihrer isotropen Natur konzentrisch aus, was ermöglicht, kreisrunde Räume 16 und 18 zu bilden und Oxid am Rand der Strukturen 2 und 4 stehenzulassen.

Die seitliche Ätzgeschwindigkeit ist vollkommen reproduzierbar und hat eine Geschwindigkeit in der Größenordnung von $1\mu\text{m}/\text{min}$ bei Umgebungstemperatur, was eine genaue Dimensionskontrolle der seitlichen Dicke der isolierenden Ringe 20 und 22 (Figuren 2 und 3) in Abhängigkeit von der Zeit ermöglicht.

Wenn die für die Ätzung notwendige Zeit verstrichen ist, wird das Muster gespült bzw. ausgewaschen und getrocknet und die dünnen Membranen 8 und 10 sind dann fertig.

Der nächste Schritt des Verfahrens, dargestellt in den Figuren 10A und 10B, betrifft das Wiederverschließen der Öffnungen 26 und 30. Dieses Wiederverschließen erfolgt, um einen Lagesensor herzustellen, während in den Räume 16 und 18 Vakuum herrscht. Dazu führt man unter Vakuum eine Abscheidung durch, die ermöglicht, einerseits hermetische Stopfen 24 und 28 in den Öffnungen 26 und 30 und andererseits Abstandshalter zwischen jeweils den Membranen 8 und 10 und dem Substrat herzustellen.

Die Abstandshalter ermöglichen, die Steifigkeit der Membran 10 zu erhöhen und der verformbaren Membran 8 eine kreisförmige Verformung zu verleihen, die für eine kapazitive Detektion günstiger ist als eine sogenannte "Ballon"-Verformung.

Die Abstandshalter 26 und 28 erhält man durch CVD- oder evtl. PECVD-Abscheidung eines Stapels von SiO_2 + Si_3N_4 auf der gesamten Struktur. Die Dicke des abgeschiedenen Stapels ist in der Größenordnung von $1\mu\text{m}$, um die Öffnungen 26 und 30 gut zu verschließen und Paßelemente zwischen den Membranen und dem Substrat zu bilden.

Ein Ätzschritt des Schichtenstapels wird anschließend durchgeführt, um diesen Stapel nur an den gewünschten Stellen stehenzulassen, d.h. in Höhe der Öffnungen 26 und 30, und so die Membranen 8 und 10 von jeder Störspannung zu befreien.

Man führt dann die Abscheidung einer metallischen Schicht auf der gesamten Struktur durch, um die Zwischenverbindungen mit der Meßschaltung sowie den Kontaktelementen 32 und 34 auf den Strukturen 2 und 4 zu gewährleisten. Diese Metallisierung hat eine Dicke von ungefähr 0,5 bis $1\mu\text{m}$ und kann aus Aluminium sein. Diese Schicht wird dann geätzt, um die Kontakte 32 und 34 nach den klassischen Verfahren der Photolithographie zu bilden. Der Angriff des Aluminiums kann mit Hilfe von H_3PO_4 erfolgen.

Anschließend führt man eine Ätzung des Oberflächensiliciums am Rand der Membranen 8 und 10 durch (s. Figuren 1 und 3), um die Meß- und die Bezugsstruktur voneinander zu isolieren und die Streukapazitäten zu verringern. Diese Ätzung kann ein reaktives Ionenätzen unter Verwendung von SF_6 sein.



93 403 156.8
COMMISSARIAT ...

PATENTANSPRÜCHE

1. Herstellungsverfahren eines integrierten Druckwandlers, der wenigstens eine verformbare, fest mit einem Substrat verbundene Membran und kapazitive Meßeinrichtungen der Verformungen dieser Membran umfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß es die folgenden Schritte umfaßt:

a) - Implantieren von Sauerstoff-Ionen in ein Substrat (6) aus monokristallinem Silicium und Tempern des Substrats, um auf dem Substrat einen Film aus monokristallinem Silicium (44) zu bilden und von diesem letzteren wenigstens lokal durch eine Isolierschicht (42) zu trennen;

b) - Herstellen einer Öffnung (26) in diesem Siliciumfilm, bis zur Isolierschicht;

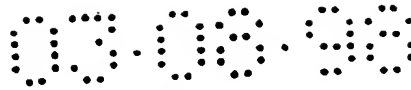
c) - partielles Eliminieren dieser Isolierschicht durch die genannte Öffnung, um die Siliciumfilm-Membran zu bilden;

d) - Verschließen der besagten Öffnung (26), wobei das genannte Verfahren außerdem einen Herstellungsschritt von wenigstens einer in dem Siliciumsubstrat vergrabenen Elektrode (12, 111, 113, 115) umfaßt, der verformbaren Membran gegenüberstehend, und dieser Schritt nach dem Tempern des Substrats stattfindet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt c) durch isotropen chemischen Angriff erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß man vor dem Herstellen der Öffnung eine monokristalline Siliciumschicht (50) auf dem Siliciumfilm epitaktisch aufwachsen läßt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß man die Meßeinrichtungen (8, 12) wenigstens teilweise in dem Siliciumfilm und/oder der epitaxierten Siliciumschicht ausbildet, die dann leitend sind, und dadurch, daß man für besagte Einrichtungen elektrische Kontakte (32, 34) auf dem leitenden Silicium herstellt.



5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat aus N-dotiertem monokristallinen Silicium ist.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt d) darin besteht, auf der Gesamtheit der Struktur wenigstens eine zusätzliche Schicht abzuscheiden und diese Schicht derart zu ätzen, daß nur am Ort der Öffnung Material stehenbleibt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß man einen Stapel aus zwei Isolierschichten aus Siliciumoxid und Siliciumnitrid verwendet, um die Öffnung wieder zu schließen.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die vergrabene Elektrode durch lokale Implantation von Ionen in das Substrat gebildet wird, deren Konduktivitätstyp zu dem des Substrats invers ist.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Isolierschicht (42) auf der gesamten Oberfläche des Substrats ausgebildet wird.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche zur Herstellung eines Wandlers mit kapazitiven Differentialmeßeinrichtungen, dadurch gekennzeichnet, daß es außerdem die simultane Herstellung einer Bezugsstruktur (4) mit einer steifen Membran (10) umfaßt, integriert auf dem genannten Substrat, die folgenden Schritte umfassend:

- Herstellen des leitenden Siliciumfilms, über seine gesamte Fläche vom Substrat getrennt;
- Herstellen mehrerer Öffnungen (26, 30) in dem Siliciumfilm, bis zur Isolierschicht;
- partielles Eliminieren der Isolierschicht durch wenigstens eine (26) der genannten Öffnungen;
- Verschließen der genannten Öffnungen durch Isolierstopfen (28);
- Herstellen von elektrischen Kontakten (34) auf dem leitenden Silicium.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß man in dem Siliciumfilm eine erste Öffnung (26) bis zur Isolierschicht herstellt und die Isolierschicht durch diese erste Öffnung und zweite Öffnungen (30) in dem Siliciumfilm entfernt.



12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß man wenigstens eine in dem Siliciumsubstrat vergrabene Bezugselektrode (14) herstellt, der steifen Membran (10) gegenüberstehend.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß man außerdem eine periphere Ätzung des auf der Isolierschicht ausgebildeten Siliciums durchführt, um die Membran oder die Membrane (8, 10) zu isolieren.

14. Integrierter Druckwandler mit einer sensiblen Struktur (2), ein Siliciumsubstrat (6, 106), wenigstens eine Membran aus monokristallinem Silicium (8, 108), verformbar in einer zum Substrat senkrechten Richtung (Z), sowie Kondensator-Einrichtungen zum Messen der Membran-Verformungen umfassend, wobei besagte Membran mit ihren Rand über eine geätzten Isolierschicht (42, 42a) fest mit dem Substrat verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran in ihrer Mitte einen isolierenden Stopfen (24, 124) umfaßt, wobei dieser Stopfen sich auf dem Substrat abstützt, um die Steifheit der Membran zu erhöhen, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine in dem Substrat vergrabene Elektrode (12) der verformbaren Elektrode gegenüber vorgesehen ist.

15. Wandler nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran kreisförmig ist.

16. Wandler nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß er eine Bezugsstruktur umfaßt, die wenigstens eine fest mit dem Substrat verbundene Membran (10) aus monokristallinem Silicium enthält, versteift durch mehrere über ihre gesamte Fläche verteilte Isolierstopfen (28), die sich auf dem Substrat abstützen, und elektrische Kontakte (34), ausgebildet auf der genannten steifen Membran.

17. Wandler nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß eine in dem Substrat vergrabene Bezugselektrode (14) der steifen Membran gegenüber vorgesehen ist.

18. Wandler nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß er wenigstens eine erste Elektrode (113) umfaßt, einem vom Rand der Membran und dem Isolierstopfen beabstandeten Bereich starker Verformung (117) der Membran (108) gegenüberstehend in das Substrat (106) implantiert, und wenigstens eine zweite Elektrode

03.08.98

4

(111, 115), implantiert gegenüber wenigstens eines Bereichs schwacher Verformung der Membran (108), in der Nähe des Rands und/oder des Isolierstopfens (124).

FIG. 1

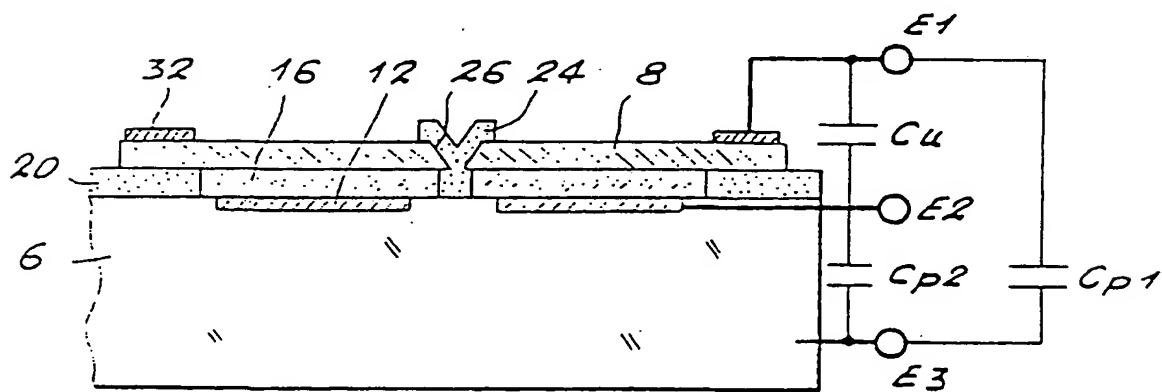
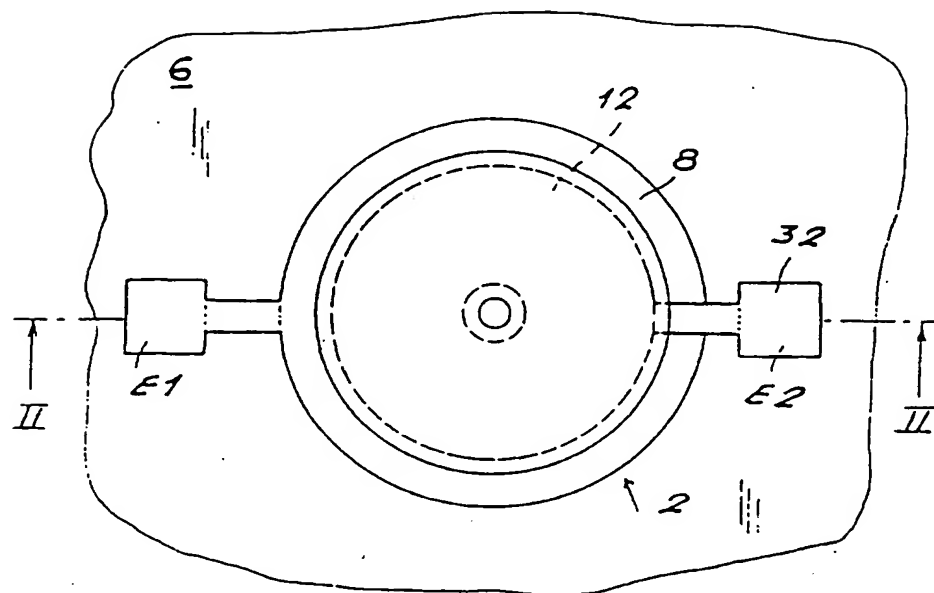


FIG. 2

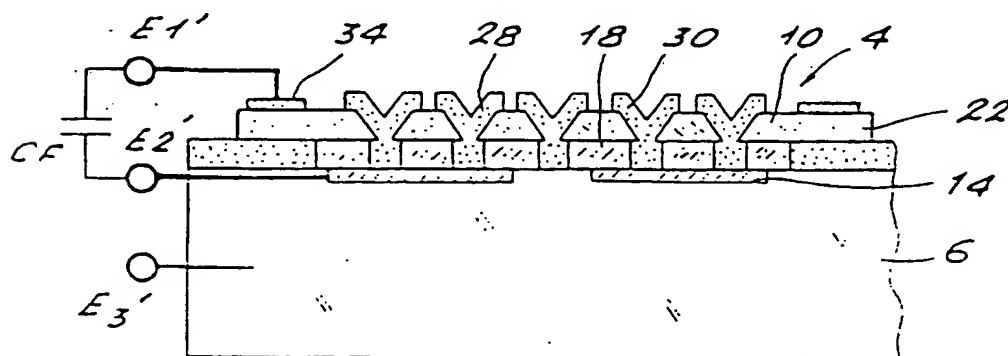


FIG. 3

03/08/98

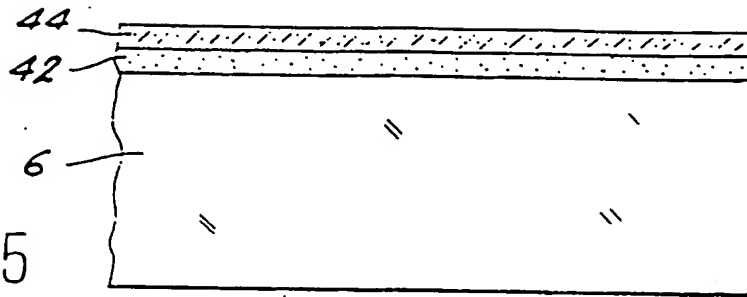
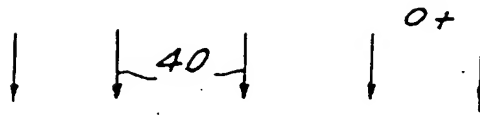


FIG. 5

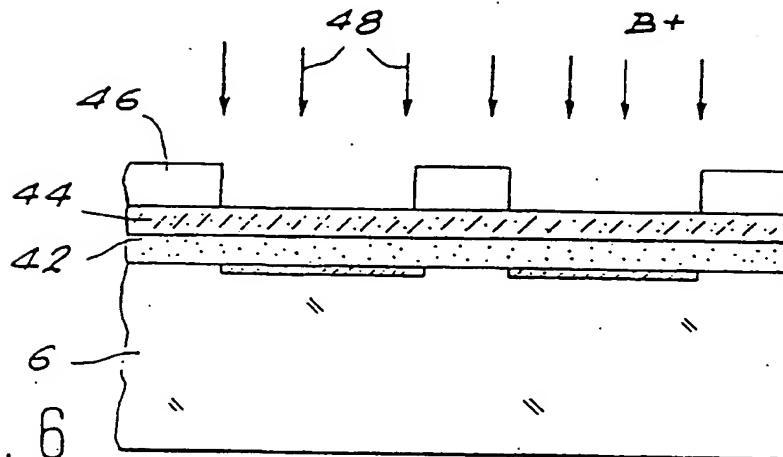


FIG. 6

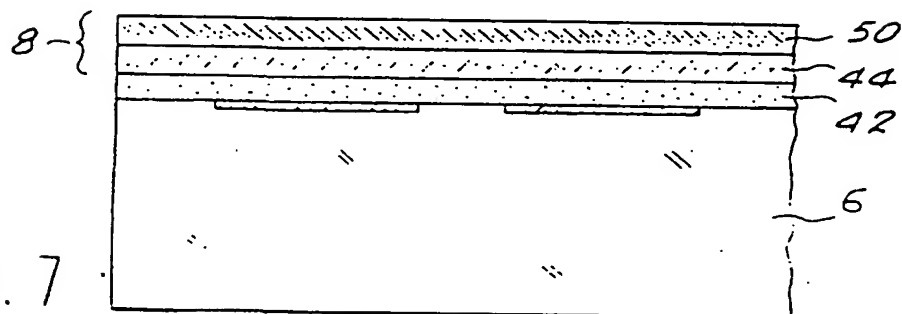


FIG. 7

03.08.98

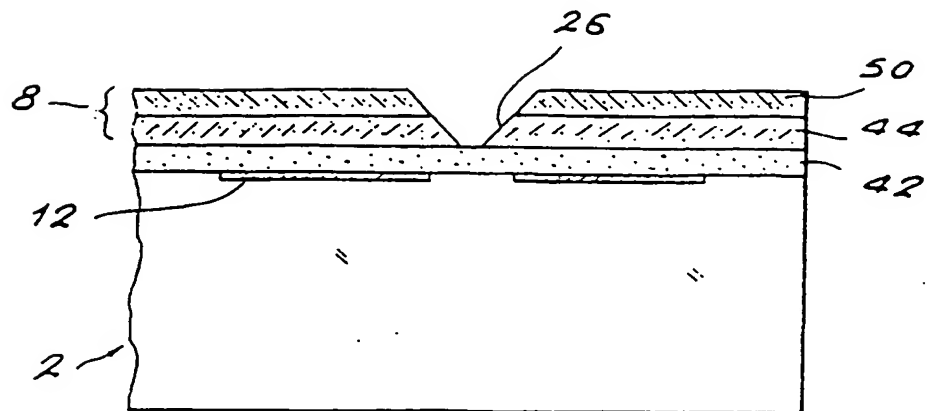


FIG. 8

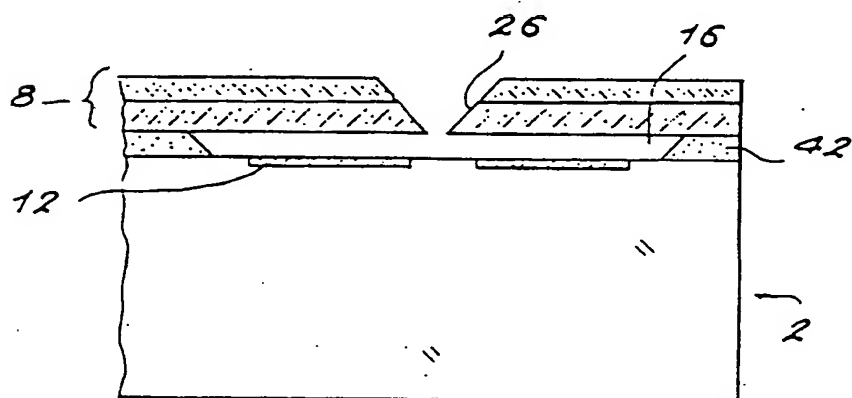


FIG. 9 A

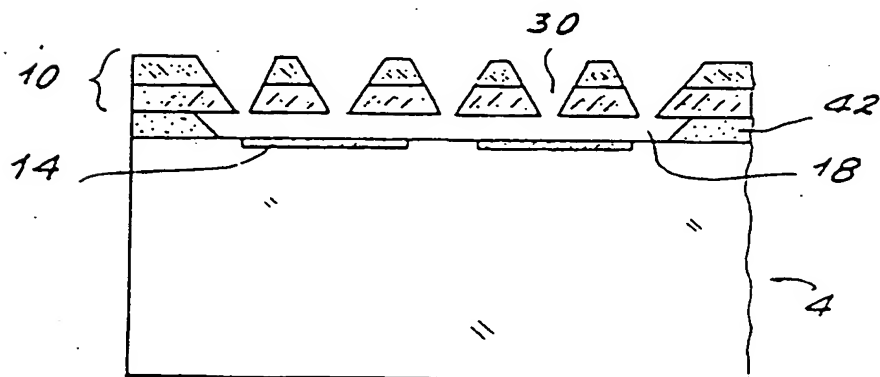
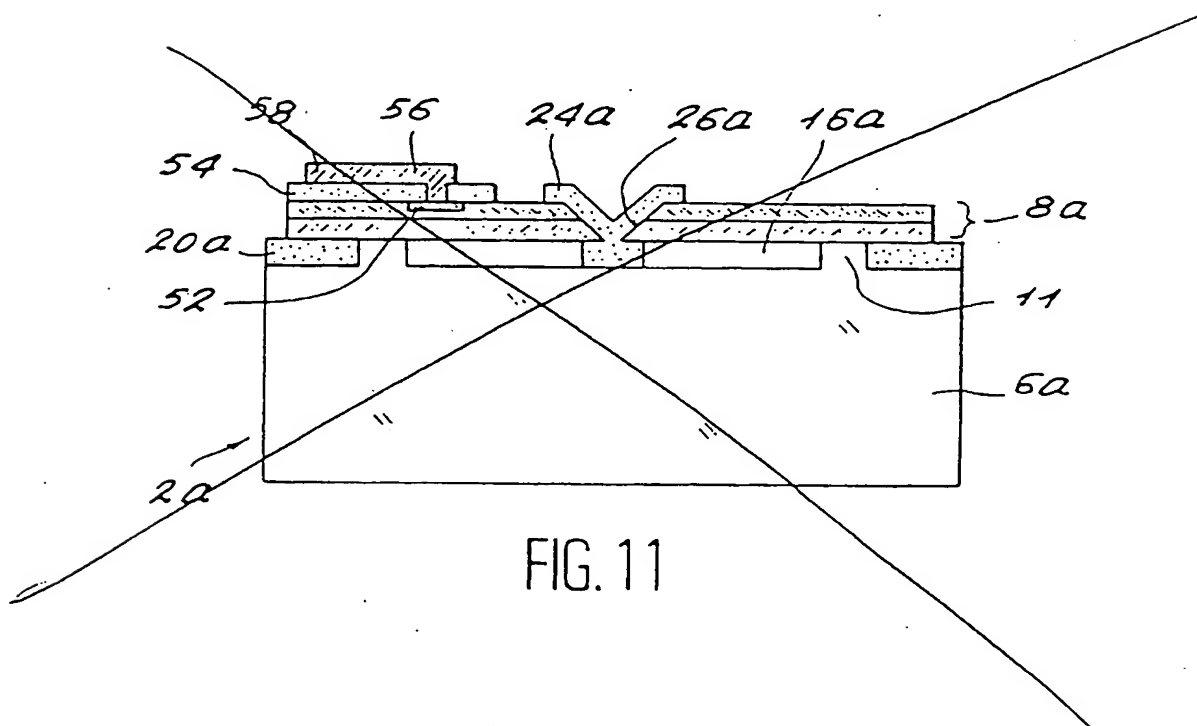
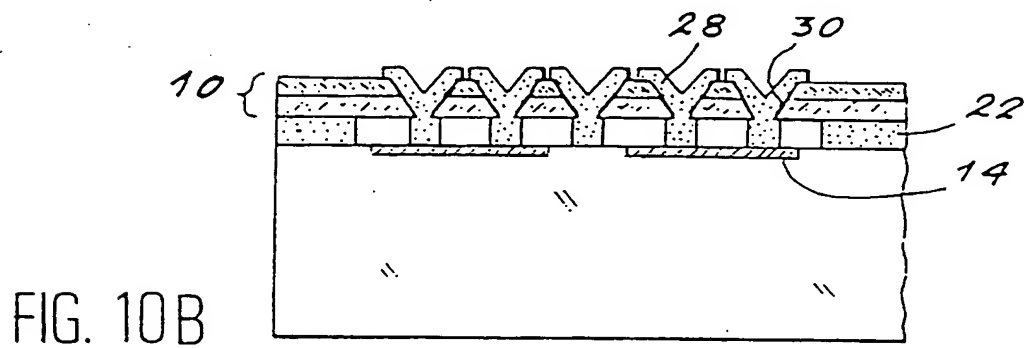
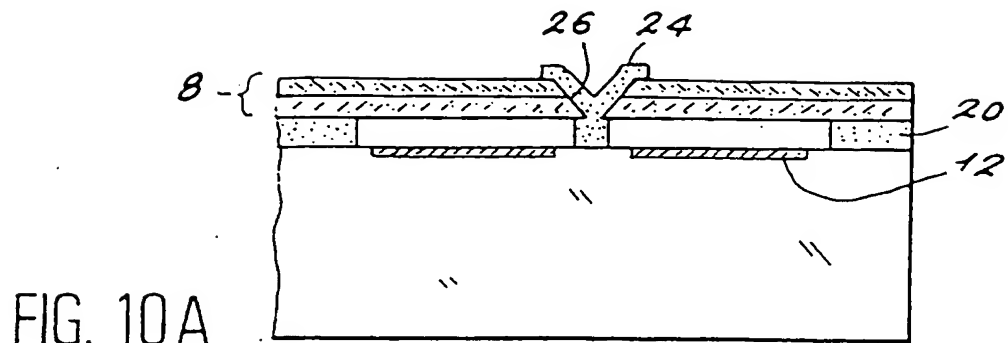


FIG. 9 B



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.